

Matias Poutiainen

HYDRAULISEN KOKOONPANOVELINEEN SUUNNITTELU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
2012

HYDRAULISEN KOKOONPANOTELINEEN SUUNNITTELU

Poutiainen, Matias

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Marraskuu 2012

Ohjaaja: Kivinen, Juha-Matti, Yliopettaja (konetekniikka), TkT

Sivumäärä: 24

Liitteitä: 6

Asiasanat: kokoonpano, suunnittelu, hydraulikka, mekaniikka

Tämän opinnäytetyön aiheena oli suunnitella työn toimeksiantajalle kääntöpuominosturin puomin kokoonpanoteline, jonka avulla saadaan lyhennettyä tuotteen läpimenoaikaa tuotannossa. Alkuperäinen kokoonpanoteline haluttiin päivittää tasolle, jolla työntekoa helpotetaan ja nopeutetaan käyttäen hyväksi hydraulisia, pneumaattisia tai sähkötoimisia apulaitteita.

Päähuomio opinnäytetyön laatimisessa kiinnitettiin toimivan lopputuotteen konstruointiin käyttäen hyödyksi nykypäivän teknologiaa yhdistettynä vanhan kokoonpanotelineen hyväksi todettuihin ratkaisuihin. Tärkeimpänä osana opinnäytetyön tekoa oli tarkka selvitys telineeltä vaadittavista ominaisuuksista. Näiden käyttöominaisuuksien listaaminen vaati läheistä yhteistyötä toimeksiantajan edustajien kanssa.

Opinnäytetyön kirjallinen osuus laadittiin esittämään kokoonpanotelineen konstruoinnin työnkulku insinöörille tyypilliseen esitystapaan. Raportissa esiteltiin lyhyesti ratkaisujen taustalla olevaa yleistä teoretietoa, joskin pääpaino pidettiin ratkaisujen ja niiden löytämiseen liittyvien eri vaiheiden selvityksessä.

DESIGN OF HYDRAULIC ASSEMBLING JIG

Poutiainen, Matias

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

November 2012

Supervisor: Kivinen, Juha-Matti, Principal Lecturer (Mechanical Engineering), DSc

Number of pages: 24

Appendices: 6

Keywords: assembly, design, hydraulics, mechanics

The purpose of this thesis was to design a jig for the assembly work of jib cranes in order to reduce the lead time of the product in production. The setup for this task was to upgrade the old assembling jig to the modern level of technology where solutions based on the use of hydraulic, pneumatic and electric actuated applications ease and accelerate the daily work of the assembler.

In this thesis the main objective was finding out the most suitable structure for the assembling jig by applying modern technology combined with the use of various applicable features of the old jig. The first step of defining the required functions for the new jig was carefully completed in cooperation with the customer's representatives, as this step widely determines the contents of the whole design process.

The report is formed implementing the basic engineer's approach in presenting the design process of the assembling jig. The background theory behind each individual solution is discussed briefly in the presentation, giving the most emphasis to describing the solutions themselves and the motives for choosing them.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY	6
2.1	SATATERÄS OY.....	6
2.2	Tuotteet	6
2.2.1	Nosturit.....	7
2.2.2	Nostoapuvälineet	8
2.2.3	Henkilönostokorit.....	8
2.2.4	Kippikontit	8
3	YLEINEN KONSTRUKTIOPROSESSI.....	9
3.1	Uuskonstruktio.....	9
3.2	Sovelluskonstruktio	9
3.3	Muunnelmakonstruktio	10
3.4	Konstruoinnin työkulku	10
4	KOKOONPANOTELINEEN KONSTRUOINTI.....	13
4.1	Tehtävänasettelun selvitys	13
4.2	Luonnosteluvaihe.....	14
4.3	Kehittelyvaihe	14
4.3.1	3D-mallinnus.....	15
4.3.2	Lujuuslaskenta.....	16
4.3.3	Hydrauliikkapiiri ja hydrauliikkakomponenttien valinta	20
4.4	Viimeistelyvaihe	23
5	TULOSTEN TARKASTELU	23
	LÄHTEET	24

LIITTEET

Liite 1	Vaatimuslista
Liite 2	Osaratkaisujen luonnostelu
Liite 3	Standardin SFS-EN ISO 12100-1 mukainen riskien tarkastelu
Liite 4	Hydrauliikkapiiri
Liite 5	Hydrauliikkakomponenttien luettelo
Liite 6	Kokoonpanopiirustus

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni toimeksiantajana toimi nosturivalmistaja Satateräs Oy. Aiheena oli suunnitella kääntöpuominostureiden puomien valmistukseen uusi kokoonpanoteline, jolla helpotetaan ja nopeutetaan kokoonpanijan työtä ja samalla nostetaan tuotteen valmistuskapasiteettia. Tämä suunnittelutyö on osa yhtiön tuotannon uusimisprosessia, jonka tarkoituksena on tehostaa tuotantoa käyttäen hyödyksi entistä enemmän automaatiikkaa sisältäviä apulaitteita.

Työlle asetetuista tavoitteista tärkein oli vanhassa kokoonpanotelineessä olleiden käsikäyttöisten liikkeiden muuttaminen automaattisiksi. Myös rakenteeseen jouduttiin tekemään muutoksia johtuen lisääntyneestä tarpeesta valmistaa yhä suurempia ja raskeampia puomeja. Suunnittelutyössä huomiota kiinnitettiin eritoten hyvän ja tasaisen laadun mahdollistavan rakenteen löytämiseen, telineen käytön helppouteen ja turvallisuuteen sekä valmistuskustannusten pysymiseen kohtuullisina.

Kokoonpanotelineen mallintamiseen ja siihen liittyvään lujuustarkasteluun käytettiin SolidWorks 2012 -ohjelmaa. Valmiiseen suunnittelutyöhön sisältyi työpiirustukset, hydraulikkajärjestelmän kytkentäkaavio sekä lista soveltuvista hydraulikkakomponenteista.

2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY

2.1 SATATERÄS OY

Satateräs Oy on vuonna 1975 perustettu nosto- ja siirtolaitteita valmistava konepaja. Yhtiön liiketoiminnan piiriin kuuluu nosto- ja siirtolaitteiden täysi tuotantoketju: myynti, suunnittelu, valmistus, asennus ja huolto.

Yhtiön tuotantotilat sekä pääkonttori sijaitsevat Siikaisissa Pohjois-Satakunnassa. Tuotantotiloja on laajennuttu useaan otteeseen ja nykyiset tilat ovat pinta-alaltaan 4500m². Henkilöstömäärä on 38. Vuoden 2011 liikevaihto oli 5,67 M€. Satateräs Oy on täysin suomalaisessa omistuksessa oleva konepaja. [1]

Satateräs Oy:n asiakkaita ovat vuosien saatossa olleet useat yritykset logistiikka-, energia- ja teollisuusaloilta. Tunnetuimpia näistä ovat Cargotec Oyj, UPM-Kymmene, Stora-Enso sekä Outokumpu. Ulkomaan myynnin osuus liiketoiminnasta on keskimäärin 5 %. Nostinten ja komponenttien toimittajana toimii saksalainen yhteistyökumppani SWF Krantechnik GmbH. [1]

Tuotteina on kattava valikoima asiakkaiden tarpeiden mukaan yksilöllisesti suunniteltavia nosto- ja siirtolaitteita. Myyntiohjelmaan kuuluvat kaikentyyppiset nostolaitteet käsikäyttöisestä hitsauslaitteen kannatuspuomista kuormankantokyvyltään jopa 200 tonnin siltanosturiin. [1]

2.2 Tuotteet

Satateräs Oy:n tuotteet voidaan jakaa seuraaviin pääryhmiin: nosturit, nostoapuvälineet, henkilönostokorit sekä koppikontit. [1]

2.2.1 Nosturit

Satateräs Oy:n nosturivalikoimaan kuuluvat siltanosturit, kääntöpuominosturit ja profiilnosturijärjestelmät. Siltanostureiden käyttöalue on monipuolisin niiden kuormankantokyvyn ollessa 500–200 000 kg välillä. Niiden myynnin osuus koko toimitusvo-lyymista on noin 60 %. [1]

Kääntöpuominostureiden vuotuinen toimitusmäärä on noin 150 kpl. [1] Uusi paran-nettu kokoonpanoteline mahdollistaa näiden nostureiden valmistuskapasiteetin nos-tamisen sekä toimitusaikojen lyhentämisen.



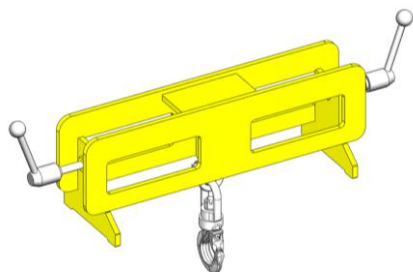
Kuva 1. Yläpuolelta tuettu kääntöpuominosturi



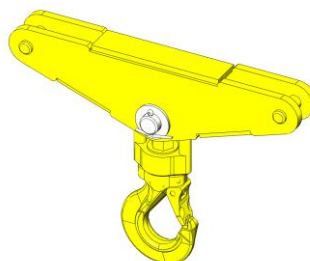
Kuva 2. Alapuolelta tuettu kääntöpuominosturi

2.2.2 Nostoapuvälineet

Nostoapuvälineiden valmistusohjelman kuuluvat mm. nosto-orret, nostotarraimet, alipainetarraimet, trukkipuomit, tavarannostohäkit ja kuormalavanostohaarukat.



Kuva 3. Trukkinostokoukku



Kuva 4. Nosto-orso

2.2.3 Henkilönostokorit

Satateräs Oy valmistaa henkilönostokoreja trucki-, kurottaja- sekä nosturikäyttöön. Korivalikoiman erikoisuutena on truckiin kiinnitettävä nostokori, joka on ainoa hyväksytty tapa saada nostaa henkilöitä haarukkatrukilla.



Kuva 5. Henkilönostokori

2.2.4 Kippikontit

Tuotevalikoimaan kuuluu myös kippikontti jäte- ja kierrätysmateriaalien lajitteluun sekä siirtoon. Kippikonttien komponenttien valmistus on ulkoistettu alihankintaan, mutta kokoonpano tehdään yhtiön tuotantotiloissa.

3 YLEINEN KONSTRUKTIOPROSESSI

Toisin kuin tieteellisessä tutkimuksessa, jossa ongelmalle on olemassa vain yksi oikea ratkaisu, on konstruktiossessissa hyväksyttäviä ratkaisuita lukematon määrä. Koska konstruktiiivinen toiminta on sen käyttöalue huomioiden hyvin laaja käsite, sitä ei ole mahdollista asettaa tiettyyn kaavaan mihinkään organisaatioon tai toimintatapaan nähden. [2]

Suunnittelijalle tärkein asia onkin, että sovelletulla ratkaisutavalla pystytään tuottamaan edullisia ratkaisuita järjestelmällisesti ilman, että sattumanvaraisuus tai toistuvat virheet vaikuttaisivat lopputulokseen.

Konstruktioajat voidaan yleisesti jakaa kolmeen eri päälajiin. Nämä ovat uuskonstruktio, sovelluskonstruktio sekä muunnelmakonstruktio. [3] Jotta konstruointityön kulku ja sen laajuus voitaisiin optimoida, on ennen aloittamista hyvä selvittää, mitä konstruktioajia ollaan toteuttamassa. Joskin konstruktioajien sisällön kuvaus vaihtelee jonkin verran lähteestä riippuen, voidaan seuraavaa jaottelua hyödyntää lajien tarkasteluun.

3.1 Uuskonstruktio

Nimensä mukaisesti uuskonstruktioiksi nimitetään konstruktioita, jossa toteutetaan täysin uusi ratkaisuperiaate vastaamaan uutta, osittain muuttunutta tai vanhaa tehtävänasettelua.

3.2 Sovelluskonstruktio

Sovelluskonstruktioiksi nimitetään konstruktioita, jossa tunnettua ratkaisuperiaatetta sovelletaan muunnettuun tehtävänasetteluun. Tällöin saavutetaan systeemille asetetut uudet rajat, joskin se edellyttää usein yksittäisten rakenneryhmien ja -osien uuskonstruktioita. Opinnäytetyössäni on kyse sovelluskonstruktioista.

3.3 Muunnelmakonstruktio

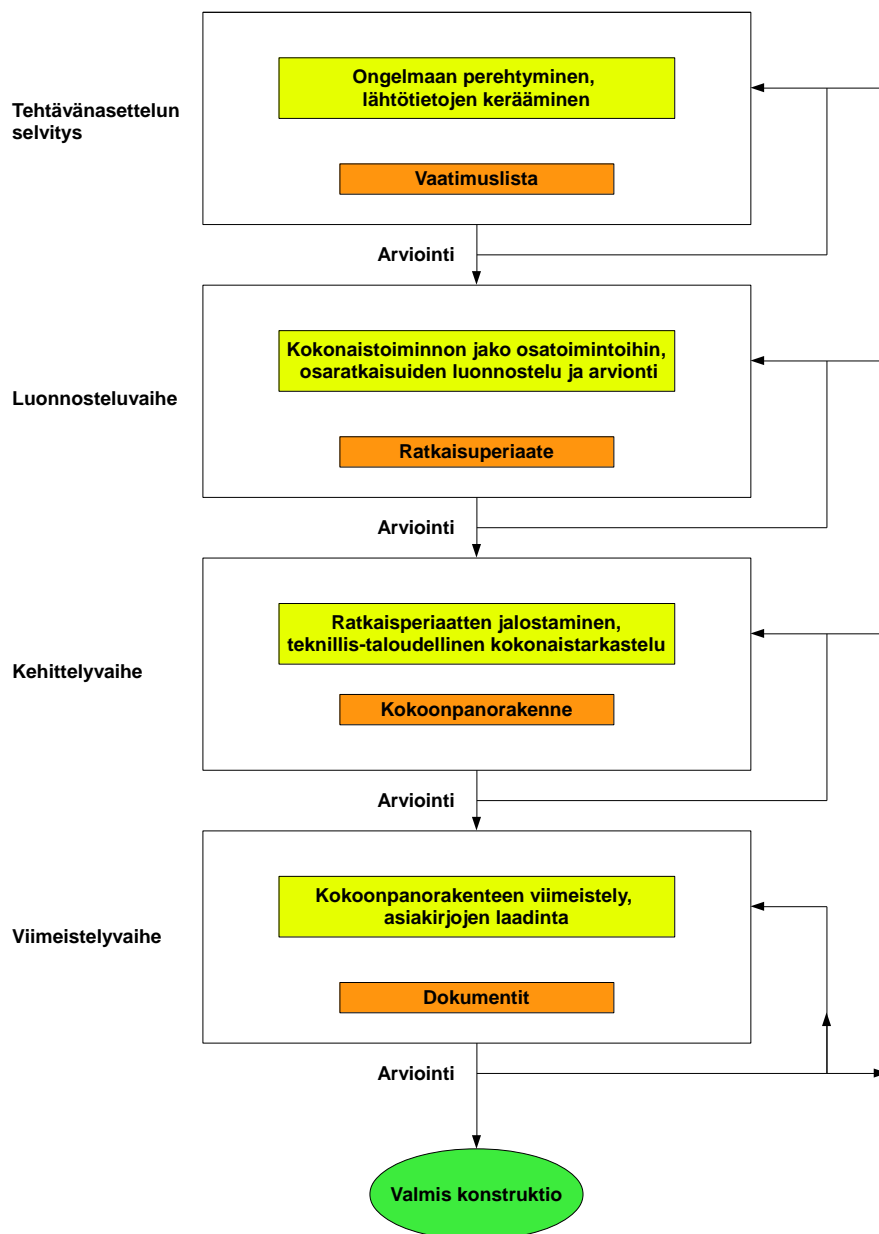
Muunnelmakonstruktiossa uutta ratkaisuperiaatetta ei luoda vaan tunnettua systeemiä muunnetaan sen koon tai järjestelyn puolesta. Muutokset ovat pääosin käyttöympäristön sanelemia ja ne keskittyvät useimmiten konstruktioprosessin viimeistelyvaiheeseen, kuten mitoittamiseen ja materiaaleihin.

3.4 Konstruoinnin työkulku

Jotta konstruointityö olisi järjestelmällistä ja se tuottaisi haluttuja tuloksia tehokkaasti, on konstruointityölle kehitetty tietty etenemistapa, jota pystytään soveltamaan kokonaisuutena ongelman yksityiskohdista riippumatta. Konstruoinnin työkulku voidaan tämän mukaan jakaa karkeasti neljään päävaiheeseen:

1. Tehtävänasettelun selvitys
2. Luonnostelu
3. Kehittely
4. Viimeistely

Näiden vaiheiden hienomman jaottelun tuloksena saadaan kulkukaavio (kaavio 1), jossa nähdään yksityiskohtaiset työ- ja päätösaskeleet etenemisjärjestyksessä. [2] Tässä etenemismallissa yhden työaskeleen toteuttamista seuraa päätös työn tuloksen tyydyttävyydestä. Päätös on joko siirtyminen seuraavaan työvaiheeseen tai uusia työn läpikäynti. Tällä jatkuvalla arvioinnilla pystytään välttämään sellaista prosessin läpikulkua, jossa paha puutteellisuus tulee ilmi vasta lopussa.



Kaavio 1: Konstruoinnin työnkulku

Tehtävänasettelun selvitykseksi nimitetään laaja-alaista tiedonhankintaa ratkaisulle asetetuista vaatimuksista sekä yleisistä reunaehdoista ja niiden merkityksestä (esim. toteuttamisen resursointi, taloudellinen kannattavuus ym.). Selvityksessä määritetty informaatio kerätään vaatimuslistaan, joka toimii pohjana luonnostelulle ja sitä seuraaville työaskelille. Vaatuslista on asiakirja, jonka pitäminen ajan tasalla on olennainen osa koko prosessia. [2]

Luonnosteluvaiheen tavoite on luoda vaatimuslistan perusteella periaatteellinen ratkaisu konstruktiolle. Luonnostelu alkaa vaatimuslistan määrittelemän kokonaistoiminnon jakamisella osatoimintoihin, joille kehitetään useampi ratkaisumahdollisuus. Näitä ratkaisumahdollisuuksia yhdistelemällä saadaan yksi tai useampi ratkaisuperiaate kokonaistoiminnolle. Tätä ratkaisua voidaan ilmentää vapaakätisellä luonnoksella, kytkentäkaavalla tms. Jälleen kerran, ainoaa oikea ratkaisua ei ole ja usein luonnosteluvaiheen hankaluutena on eri ratkaisuperiaatteiden keskinäinen vertailu. Tälle on toki olemassa eri metodeja, kuten mm. matemaattinen tarkastelu, joskin ratkaisuperiaatteen vieminen kehittelyvaiheeseen tuo nopeasti esiin sen hyödyt sekä mahdolliset puutteet. [2]

Kehittely on se osa konstruointia, jossa tuotteen periaateratkaisu jalostetaan yksiselitteiseksi kokoonpanorakenteeksi teknisten ja taloudellisten näkökohtien mukaan. Kehittelyvaiheen tuloksena on konstruointikohteen kokonaiskehitemä, jonka ominaisuuksia verrataan vaatimuslistaan. [3] Mikäli työssä havaitaan puutteita, seuraa luodun kokonaiskehitemän osittainen parantelu, tai koko työvaiheen toistaminen eri ratkaisuperiaateelle

Viimeistely on työvaihe, jossa kokoonpanorakennetta täydennetään lopullisilla mitoitusta, muotoa, materiaaleja ja valmistusmenetelmiä koskevilla määrityksillä. [3] Tuotteen valmistusta varten laaditaan täydelliset työpiirustukset sekä muut valmistukseen ja käyttöön liittyvät asiakirjat.

4 KOKOONPANOTELINEEN KONSTRUOINTI

Opinnäytetyöni käytännön osuus sisältää selvityksen kokoonpanotelineen konstruointiprosessin vaiheista ja niiden sisällöstä edellisessä kappaleessa esitellyn työnkulun mukaisesti.

4.1 Tehtävänasettelun selvitys

Sain Satateräs Oy:ltä toimeksiannoksi suunnitella kokoonpanotelineen kääntöpuominostureiden puomien kokoonpanoa ja hitsausta varten. Tarkoituksena oli suunnitella ns. ”paranneltu versio” vanhasta mallista, jolle käyttövuosia oli kertynyt jo noin 20 vuotta. Vanhan kokoonpanotelineen periaateratkaisua hyödynnettäisiin soveltamalla siihen useita käyttöä helpottavia uuskonstruktiota.

Selvitys alkoi käynnillä yhtiön tuotantotiloissa perehtymässä vanhan telineen mittoihin sekä siinä käytettyihin osaratkaisuihin. Telineen käyttäjiä jututtamalla selvisi useita parannettavia sekä lisättäviä ominaisuuksia, joiden perusteella laadin vaatimuslistan (liite 1).

Tehtävänasettelun selvitykseen lukeutui myös erirakenteisten ja -kokoisten kääntöpuomien työpiirustusten tarkastelu sekä kääntöpuominosturin toiminnan kannalta tärkeimpien mittojen selvitys ja taulukointi helpottamaan telineen koon ja rakenteen alustavaa hahmottelua.

Kun totesin vaatimuslistan sisältävän kaikki kokoonpanotelineelle olennaiset kohdat ja olin kerännyt tarpeeksi tietoa kääntöpuomien rakenteesta, pystyin aloittamaan kokoonpanotelineen luonnostelun.

4.2 Luonnosteluvaihe

Koska uuden kokoonpanotelineen konstruoinnissa pystyttiin hyödyntämään vanhoja osaratkaisuita, voitiin luonnosteluvaiheessa keskittyä ainoastaan uuskonstruktion piiriin kuuluvien osaratkaisuiden luonnosteluun.

Moni vaatimuslistan kohdista pystytään täyttämään vasta kehittelyvaiheessa materiaalivalinnoilla sekä lujuuslaskelmilla. Kuitenkin kolme vaatimusta aiheutti tarpeen luonnostelulle. Nämä olivat vaatimuslistan kohdat 4,5 ja 6. Liitteen 2 kaaviokuva esittää näiden osatoimintojen ratkaisujen luonnostelun.

Koska kokoonpanotelineen liikkuvilta osilta vaadittiin varmoja ja välyksettömiä liikkeitä, oli hydraulikkasyylinteri luonnollinen ratkaisu sekä laakeriputken paikoitusliikkeen että sivukäännön toteuttamista varten. Enemmän sylinterien ominaisuuksista ja valinnasta on kehittelyvaiheen osiossa. Myös taloudellisesta näkökulmasta saman käyttövoiman, eli tässä tapauksessa hydraulisen energian, käyttö eri liikkeiden toteutuksessa on edullisempi vaihtoehto kuin useiden eri energialähteiden yhdistäminen samaan systeemiin.

Yläpalkin kulman säädössä käytettäväksi mekanismiksi valittiin lukitustapit siitä syystä, että siinä yhdistyy rakenteen yksinkertaisuus sekä lähes välyksetön asennonlukitusominaisuus. [4] Telineen valmistus on tällöin yksinkertaista ja kokoonpanotyössä päästään hyvään tarkkuuteen.

Kun olin saanut valmiiksi ratkaisuperiaatteen, joka vastasi vaatimuslistan määrittämiä, oli seuraava vaihe kehitellä yksiselitteinen kokoonpanorakenne.

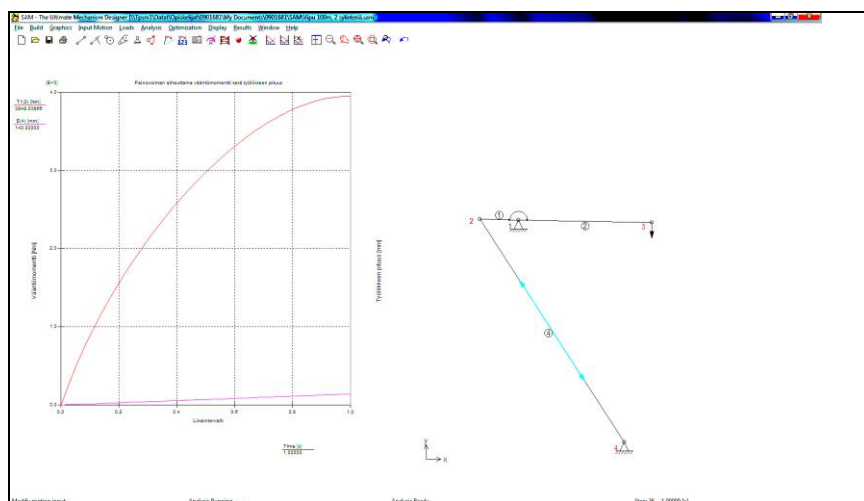
4.3 Kehittelyvaihe

Kehittelyvaihe oli konstruoinnin laajin työvaihe. Siihen lukeutui kokoonpanotelineen mallintaminen sekä sen lujuustarkastelu SolidWorks -ohjelmalla. Myös hydraulikkapiirin laadinta sekä alustava hydraulikkakomponenttien valinta kuului kehittelyvaiheen tehtäviin. Näitä tehtäviä tarkastellaan yksityiskohtaisesti seuraavaksi.

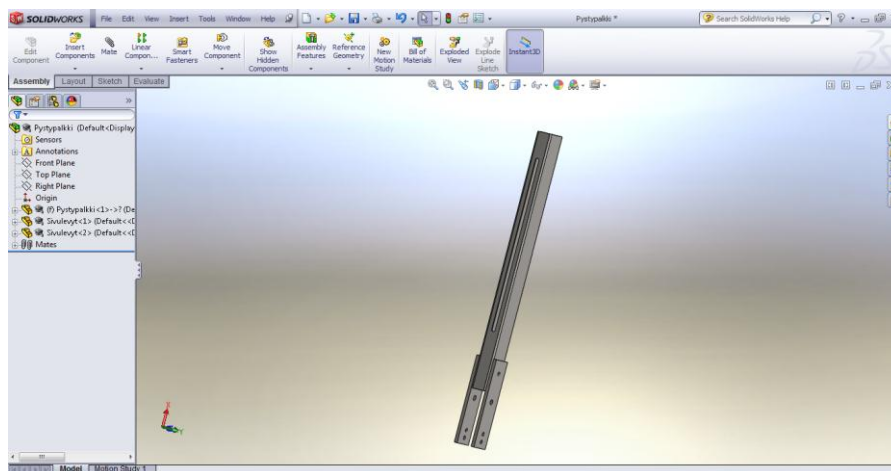
4.3.1 3D-mallinnus

Kappaleen mallinnus alkoi telineen runkorakenteesta sekä kääntyvistä pysty- ja vaakapalkkeista. Kun rakenteen päämitat olivat kunnossa, siirryttiin yksityiskohtien, kuten kallistusmekanismin, kääntövivun, kiinnityskorvien ym., mallintamiseen.

Kääntösyylinterien liikepituuksien, kiinnityskohtien sekä voimien tarkastelussa käytettiin apuna SAM 6.1 -ohjelmaa, joka on tarkoitettu mekanismien simulointiin. Myös tilankäytön optimointi oli tärkeä osuus tätä tarkastelua. Luodun mekanismin mallin perusteella valittiin valmistajan luettelosta käyttöön sopivat hydraulikkasyylinterit. Luettelon mittataulukkoa käyttäen sylinteristä voitiin tehdä tarkat 3D-mallit, jotka liitettiin telineen kokoonpanorakenteeseen.



Kuva 6. Momentin ja liikepituuden tarkastelu SAM 6.1 –ohjelmalla



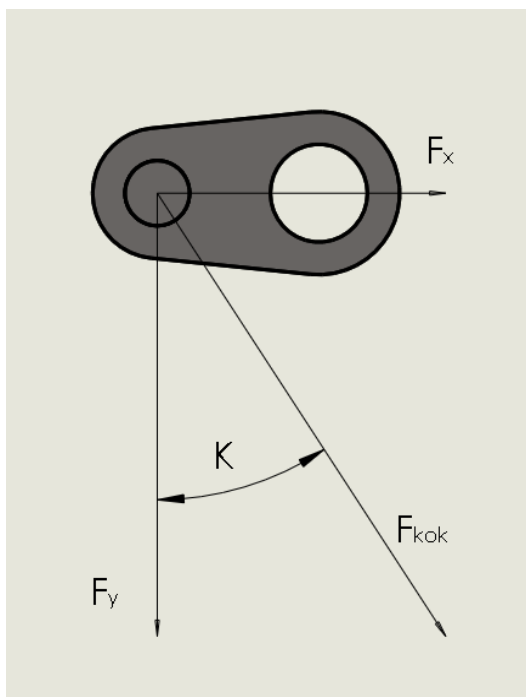
Kuva 7. Telineen pystypalkin mallinnusta SolidWorks -ohjelmalla

4.3.2 Lujuuslaskenta

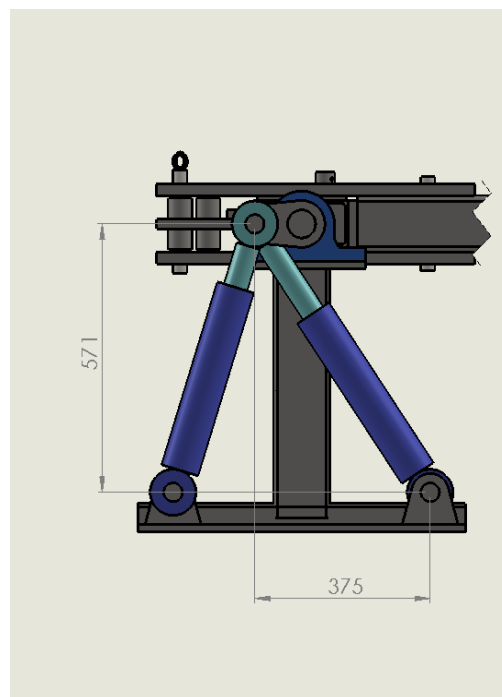
Rakenteeseen kohdistuvia jännityksiä voitiin tarkastella kahdella tavalla; joko käyttäen hyväksi SolidWorks -ohjelman simulointiominaisuutta, tai laskemalla voimien aiheuttamat jännitykset käsin. Varsinkin akseleihin kohdistuvia jännityksiä oli yksinkertaisempi lähestyä perinteisellä laskentamenetelmällä.

Jännitysten tarkastelun kannalta oli olennaisin tilanne, jossa kokoonpanotelineeseen oli kiinnitettynä painoltaan suurin kääntöpuomi telineen ollessa kallistettuna ääriasentoon. Tällöin telineen kääntyvän osan massa yhdessä kokoonpanotyön alla olevan kääntöpuomin massan kanssa aiheutti painovoiman vaikutuksesta vääntömomentin suuruudeltaan 3950Nm pyörähdysakselin suhteen. Kääntövivun pituuden ollessa 100mm saatiin kääntösylinterin voiman tarpeeksi 39,5kN.

Sylinterin sijoittamisasennosta johtuen sen kokonaisvoimasta vain toinen komponentti, poikittaissuunnassa vipuvarteen oleva voimavektori F_y , osallistuu työntekoon. Voimakomponentti F_x aiheuttaa rakenteeseen veto- tai puristusjännitystä kuvan 8 mukaisesti.



Kuva 8. Kääntövipuun kohdistuvat voimavektorit



Kuva 9. Kääntösylinterin sijoittelu

Kulman K suuruus saadaan sijoittamalla kaavaan 1 sylinterin kiinnityspisteiden etäisyydet (kuva 8).

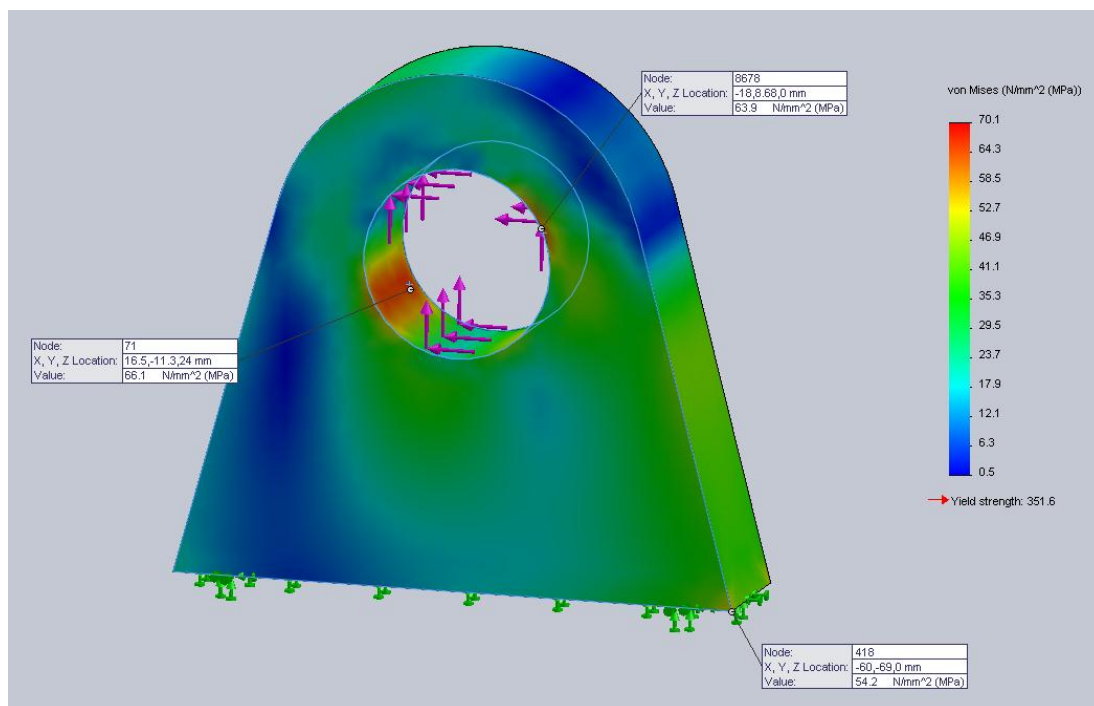
$$K = \arctan\left(\frac{375\text{mm}}{571\text{mm}}\right) \approx 33,3^\circ \quad (1)$$

Koska työtätekevän voimavektorin F_y suuruus on tunnettu, saadaan kahden muun vektorin suuruus kulman K avulla hyödyntäen trigonometrisia funktioita.

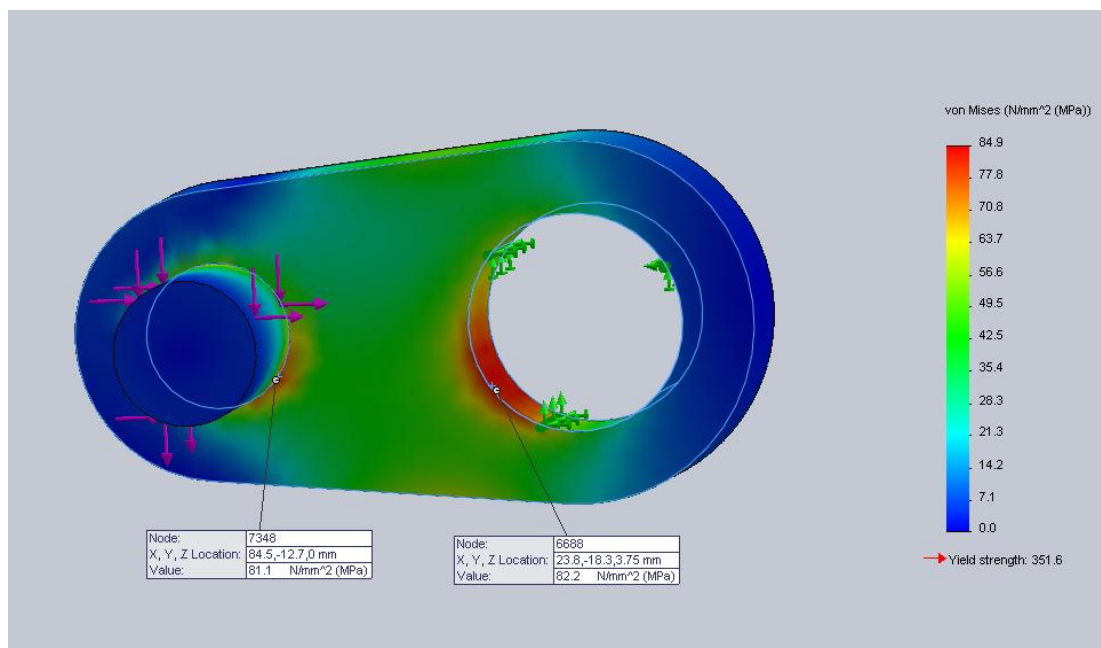
$$F_{kok} = \frac{F_y}{\cos K} = \frac{39,5\text{kN}}{\cos 33,3^\circ} \approx 47,3\text{kN} \quad (2)$$

$$F_x = \tan K * F_y = \tan 33,3^\circ * 39,5\text{kN} \approx 26,0\text{kN} \quad (3)$$

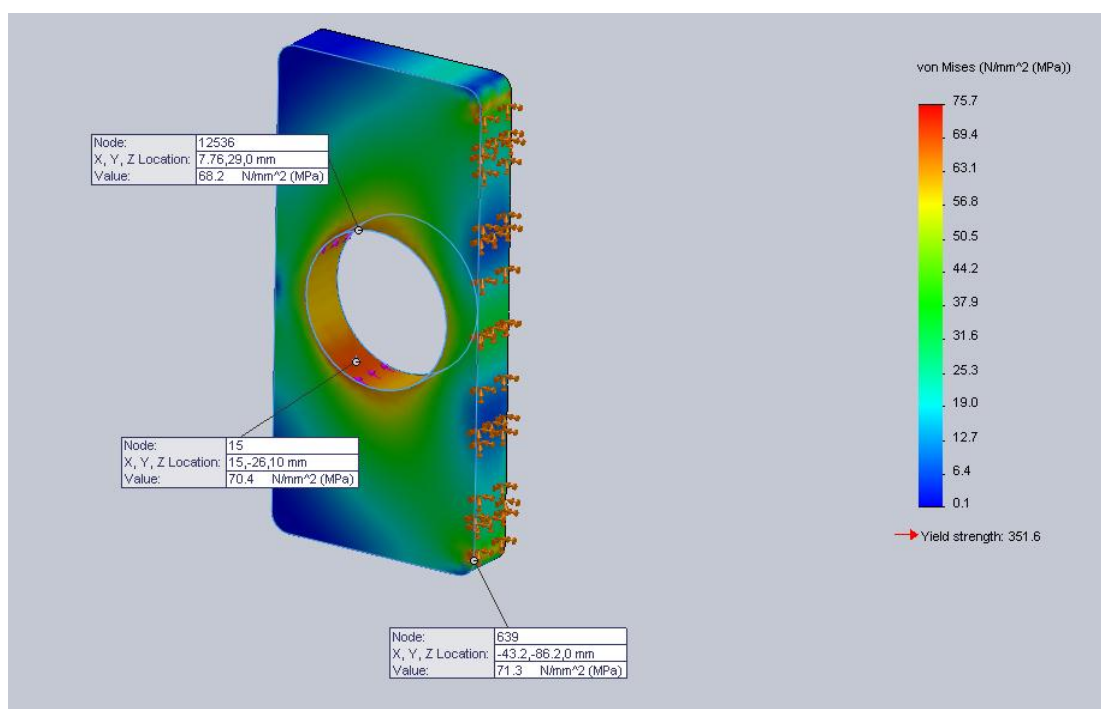
Ohessa on esitetty kuormitetuimpien rakenteenosien jännitystarkastelun tulokset edellä mainittujen parametrien vaikutuksen alla.



Kuva 10. Kääntösylinterin kiinnityskorvan jännitysten simulaatio



Kuva 11. Käntövivun jännitysten simulaatio



Kuva 12. Vaakapalkin päätylevyn jännitysten simulaatio

Lisäksi laskettiin kääntöakselin vääntöjännitys τ_v arvo (kaava 4) sekä kääntösylinterien kiinnitystapin leikkausjännityksen τ arvo (kaava 6).

$$\tau_v = \frac{M}{W_v} \quad , \text{missä} \quad (4)$$

τ_v = vääntöjännitys akselin pinnassa

M = vaikuttava vääntömomentti

$$W_v = \text{ympyräprofiilin vääntövastus} = \pi * \frac{d^3}{16} = \pi * \frac{(60\text{mm})^3}{16} \approx 42411\text{mm}^3 \quad (5)$$

$$\tau_v = \frac{3950\text{N} * 1000\text{mm}}{42411\text{mm}^3} \approx 93 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau = \frac{F}{A} \quad , \text{missä} \quad (6)$$

τ = leikkausvoiman aiheuttama jännitys akseliin

F = hydraulisylinterin aiheuttama kokonaisvoima

$$A = \text{leikkausvoiman alainen pinta-ala} = \pi * r^2 = \pi * (20\text{mm})^2 \approx 1257\text{mm}^2 \quad (7)$$

$$\tau = \frac{47300\text{N}}{1257\text{mm}^2} \approx 38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Materiaalin ollessa rakenneterästä S355, saatiin rakenteessa sallitun jännityksen suuruudeksi 88N/mm² varmuusluvun ollessa 4, myötöön nähden. Jännitystarkastelun perusteella todettiin jännitysten pysyvän pääosin tästä reilusta matalammalla tasolla. Voidaan todeta, että kyseistä varmuuslukua käytettäessä yksittäinen sallitun jännitysrajan ylittäminen ei vaikuta merkittävästi rakenteen kestävyYTEEN tai käytön turvallisuuteen.

4.3.3 Hydraulikkapiiri ja hydraulikkakomponenttien valinta

Hydraulikkajärjestelmässä tarvittavan paineen sekä tilavuusvirran määrittely pohjautui sylintereiltä vaaditun liikenopeuden ja voiman arvoihin. Koska mittatilauksen vaativan, laakeriputken paikoitusliikkeen toteuttavan teleskooppisylinterin valinta jäi toimeksiantajan tehtäväksi, ei tilavuusvirran tarpeen laskentaa voinut suorittaa loppuun tässä vaiheessa.

Kääntösylintereiden valinnassa määräävänä tekijänä oli tarvittava vetoliikkeen voima, jonka täytyi olla vähintään 47,3kN. PMC Polarteknik Oy Ab:n luettelosta valittiin sylinteri MTS 80.50, jonka teoreettinen maksimi vetovoima on 52,0kN käyttöpaineella 17MPa. [13]

Laskennallinen paineentarve työliikkeen suorittamiseen saatiin kaavalla 8.

$$p = \frac{F}{A} \quad , \text{ missä} \quad (8)$$

p = pumpun tuottama paine

F = hydraulisylinterin aiheuttama kokonaisvoima

A = valmistajan ilmoittama MTS 80.50 sylinterimännän vetopinta-ala

$$p = \frac{47300N}{3063mm^2} \approx 15,5 \frac{N}{mm^2}$$

Huomioiden voimantarpeen arvioinnin virhemarginaalin, sekä hydraulikkajärjestelmän hyötysuhteesta riippuvan todellisen sylinterin vetovoiman, ylimitoitettiin pumpulta saatava paine. Järjestelmässä vallitsevaksi paineeksi valittiin 17MPa, joka on myös sylinterivalmistajan ilmoittama maksimi käyttöpaine. [13] Järjestelmässä olevat paineenrajoitusventtiilit valitaan rajoittamaan tätä ylittävää paineennousua.

Kääntösyylinterien tarvitsema tilavuusvirta laskettiin kaavalla 9. Liikenopeudeksi v valittiin $10 \frac{mm}{s}$, jolloin kääntövivun aiheuttama kulmanopeus kääntyvälle telineelle on $0,1 \frac{rad}{s}$. Tällöin pystypalkin suurin ratanopeus on $0,2 \frac{m}{s}$.

$$Q = A * v \quad , \text{ missä} \quad (9)$$

Q = nesteen tilavuusvirta

A = valmistajan ilmoittama MTS 80.50 sylinterimännän työntöpinta-ala

v = liikenopeus

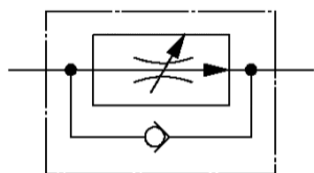
$$Q = 5027 mm^2 * 10 \frac{mm}{s} = 50270 \frac{mm^3}{s} \approx 3,0 \frac{l}{min}$$

Laakerinputken paikoitusliikkeen tekevä teleskooppisylinteri vaatii oletettavasti suuremman tilavuusvirran kuin kääntösyylinterit, joten pumpulta vaadittava tilavuusvirta tullaan määrittelemään sen perusteella. Koska sylinterin puristuspainetta voidaan alentaa paineenalennusventtiilillä, voidaan teleskooppisylinteri koko valita sen fyysisten mittojen ja männänvarren jäykkyyden mukaan rakenteeseen sopivaksi.

PR-Hydrauliikka Oy:n luettelosta valittiin käyttöarvoiltaan järjestelmään sopiva pumppukoneikko, jonka tuottama paine rajoitetaan sisäänrakennetulla paineenrajoitusventtiilillä arvoon 17MPa. Pumppukooksi valittiin $6cm^3/min$, jolloin pumpun pyörimisnopeutta muuttamalla toiminta-alueen 500-2000RPM sisällä saadaan tilavuusvirran arvoksi 3-12l/min. [14]

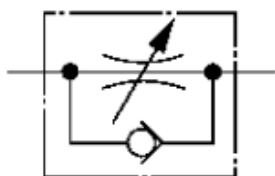
Hydrauliikkanesteen tilavuusvirtaa kuristetaan kaikissa sylinteriliikkeissä lukuun ottamatta laakerinputken paikoituksen paluuliikettä, jossa liikkeen tarkkuuden merkitys on vähäinen sen nopeuden ollessa tärkeämpänä osana juoheaa kokoonpanotyötä. Tämän liikkeen nopeuden säätäminen voidaan siis suorittaa rajoittamalla pumpun pyörimisnopeutta. [12]

Kääntösyylinterien ja niitä ohjaavien ohjausventtiileiden välille kytkettyjen virransäätöventtiileiden (kuva 13) tehtävänä on pitää kääntösyylinterin liikenopeus tasaisena riippumatta kuormanvaihtelusta. Kytkettynä säättämään toimilaitteelta poistuvaa virtaa, saadaan työliikkeen suuntaisen kuormituksen aiheuttama kiihtyminen estettyä virransäätöventtiiliin syntyvän vastapaineen ansiosta. [12]

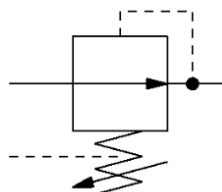


Kuva 13. Virransäätöventtiilin piirrosmerkki

Teleskooppisylinterin ja sen ohjausventtiilin välille kytketty toimilaitteelta poistuvaa virtaa rajoittava vastusvastaventtiili (kuva 14) sekä toimilaitteen tulopuolelle sijoitettu paineenalennusventtiili (kuva 15) säättävät laakeriputken paikoitusliikkeen nopeutta sekä laakeriputken kohdistuvaa voimaa puristustilanteessa. Molemmat näistä ovat säädettäviä.



Kuva 14. Vastusvastaventtiilin piirrosmerkki



Kuva 15. Paineenalennusventtiilin piirrosmerkki

Teleskooppisylinterin piirissä oleva paineakku (kuva 16) on tavanomainen osa puristinsovelluksia, joissa halutaan kytkeä pumppu pois päältä säilyttäen puristuspaine vakiona. Tämän avulla voidaan vähentää merkittävästi pumpun käyttötunteja sekä samalla käyttökustannuksia. [12]



Kuva 16. Paineakun piirrosmerkki.

Hydrauliikkapiirin kaaviokuva sekä järjestelmän komponenttiluettelo löytyvät liitteistä 4 ja 5. Hydrauliikkanestettä sekä letkuja ja liittimiä koskevat valinnat jätettiin toimeksiantajalle, koska näissä tapauksissa voitiin hyödyntää yrityksen omien tuotteiden varastokomponentteja. Lisäksi ohjausjärjestelmään liittyvä suunnittelu sekä sen komponenttien valintaa jää toimeksiantajan tehtäväksi.

4.4 Viimeistelyvaihe

Viimeistelyvaiheen sisältöön kuului telineen valmistukselle olennaisten dokumenttien laatiminen. [2] En sisällyttänyt kokoonpanotelineen työpiirustuksia opinnäytetyöraporttiin, vaan ainoistaan telineen kokoonpanokuvan osalueteloineen (liite 6). Muita liitettyjä dokumentteja ovat käyttöön liittyvien riskien tarkastelu (liite 3), hydrauliikkapiiri (liite 4) sekä hydrauliikkakomponenttien luettelo (liite 5).

5 TULOSTEN TARKASTELU

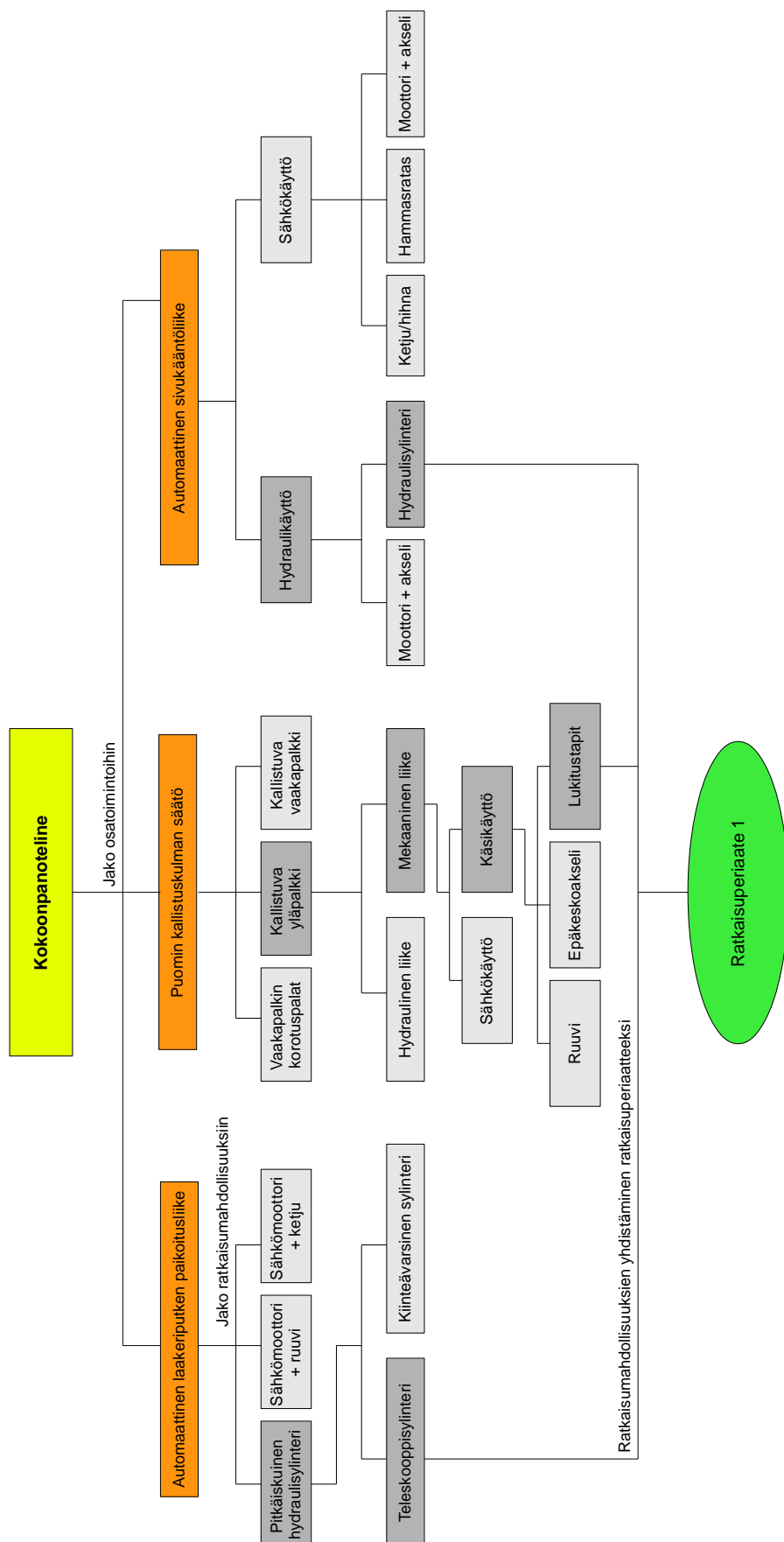
Toimeksiantajalta saatu työ oli erittäin mielenkiintoinen sekä työn määrä ja vaikeustaso olivat mielestäni sopivia opinnäytetyölle. Suunnittelutyö tehtiin läheisessä yhteistyössä Satateräs Oy:n henkilöstön kanssa ja myös työn toteutusprosessi tulee sisältämään omaani ja yrityksen yhteistä osallistumista.

Valmiin opinnäytetyöni tulos on tuotantoa varten valmis mallinnus kokoonpanotelineestä, joskin useita yksityiskohtia jätettiin sopimuksen mukaan Satateräs Oy:n viimeisteltäväksi. Näin telineen valmistusprosessista saadaan yrityksen kannalta edullinen sekä valmiin lopputuotteen ominaisuudet vastaavat parhaiten tuotannon vaateita.

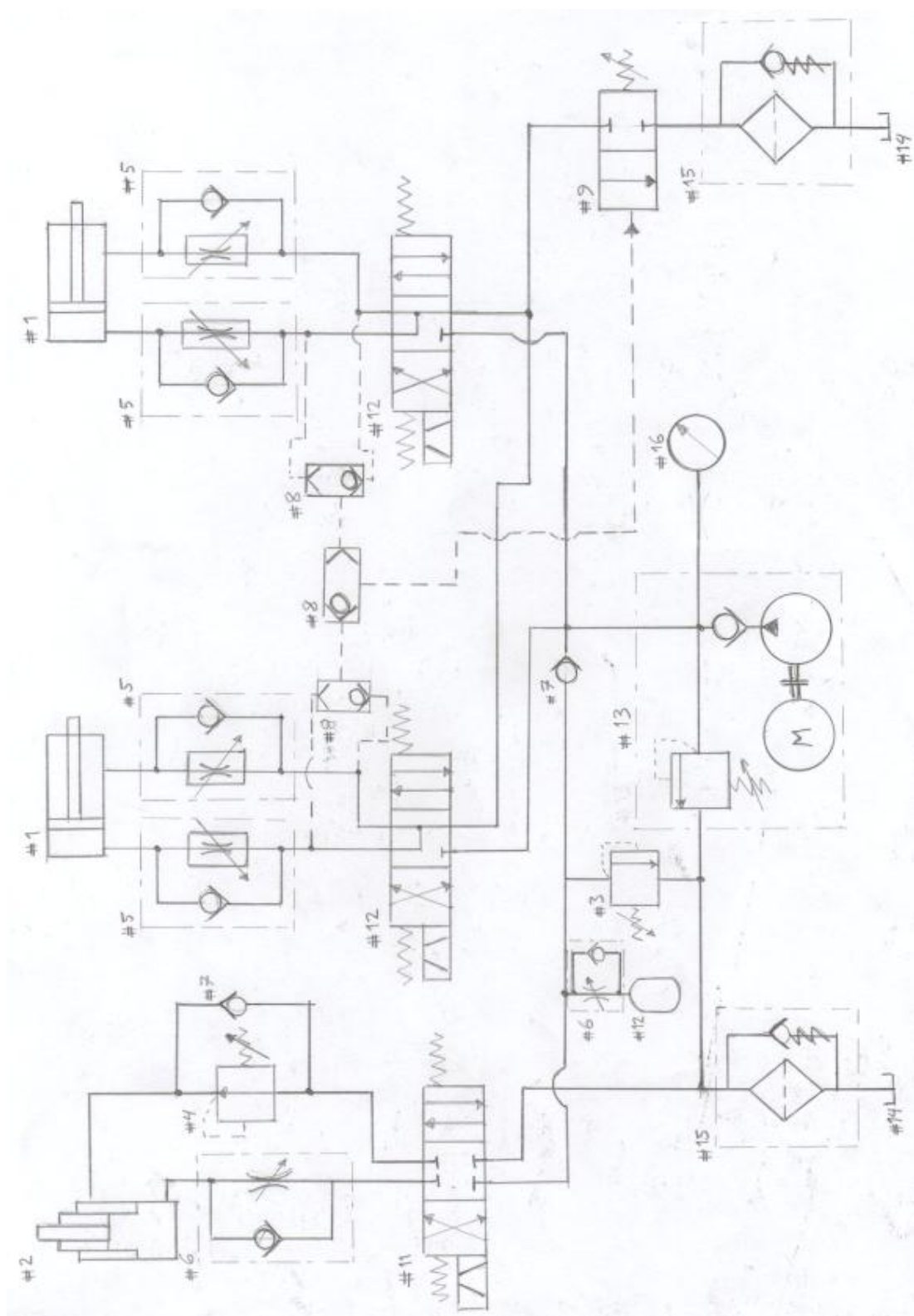
LÄHTEET

1. Satateräs Oy. Yrityksen viralliset WWW-sivut. Viitattu 26.9.2012.
<http://www.satateras.fi>
2. Huhtala, V., Makkonen, T., Ojanen, T. & Rusanen, A. 1987. Konstruktiotekniikka. Helsinki: Valtion painatuskeskus.
3. Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Porvoo: WSOY.
4. Blom, S. 1999. Koneenelimet ja mekanismit. Helsinki: Edita.
5. Kärkkäinen, M. 2006. Insinöörin mekaniikka. Helsinki: WSOY.
6. Airila, M. 1996. Mekatroniikka. Espoo: Otatieto.
7. Oy Kontino Ab. Yrityksen viralliset WWW-sivut. Viitattu 11.10.2012.
<http://www.kontino.fi>
8. Siirilä, T. 2008. Koneturvallisuus 1. EU-määräysten mukainen koneiden turvallisuus. Espoo: Inspecta.
9. Oy SKF Ab. Yrityksen viralliset WWW-sivut. Viitattu 15.10.2012.
<http://www.skf.fi>
10. Hietikko, E. 2012. Solidworks 2012. Tietokoneavusteinen suunnittelu. Kuopio: Savonia ammattikorkeakoulu.
11. Uotinen, M. & Pranila, A. 1986. Lujuusopin elementtimenetelmän käyttö. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.
12. Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. 2008. Hydrauliteknikka. Helsinki: WSOY.
13. PMC Polarteknik Oy Ab. Yrityksen viralliset WWW-sivut. Viitattu 14.10.2012. <http://www.pmcpolarteknik.com>
14. PR-Hydrauliikka Oy. Yrityksen viralliset WWW-sivut. Viitattu 16.10.2012.
<http://www.pr-hydrauliikka.fi>
15. Konepaja Ketola Oy. Yrityksen viralliset WWW-sivut. Viitattu 16.10.2012.
<http://www.kpketola.fi>

Satateräs Oy		Vaatuslista: Kääntöpuomin kokoonpanoteline
#	V / T	Vaatimukset
1	KV	Soveltuu profiili- ja IPE-palkkirakenteisille puomeille
2	VV	Soveltuu 2-8m pituisten puomien kokoonpanoon
3	VV	Telineen kääntöliikkeen laajuus on 90° pystyasennon molemmin puolin
4	KV	Kääntöliike on automaattinen kytkinohjauksella
5	KV	Laakeriputken paikoitusmekanismin liike on automaattinen kytkinohjauksella
6	KV	Sisältää mekanismin, jolla rakenteen kallistuskulmaa voi muuttaa riippuen siitä, onko kääntöpuomi ylä- vai alatuettu
7	VV	Jäykkä rakenne, joka minimoi hitsausjännitysten aiheuttamia muodonmuutoksia
8	KV	Teline on turvallinen käyttää kaikissa työvaiheissa
9	KV	Teline kiinnitetään työpisteen lattiaan pulttaamalla
10	KV	Materiaali on hitsattava rakenneteräs S355 tai lujempi
11	KV	Rakenteen varmuuslukuna käytetään n=4, myötölujuuteen nähden
12	T	Telineen käyttö on helppoa ja vaivatonta
13	T	Hyödynnetään vanhan telineen hyväksi todettuja ratkaisuita
KV = kiinteä vaatimus VV = vähimmäisvaatimus T = toive		



Vaaratilanteen kuvaus	Vakavuus: Lievä (S1) Vakava (S2)	Altistuminen: Harvoin (F1) Toistuvasti (F2)	Esiintymis- todennäköisyys: Erittäin pieni (O1) Pieni (O2) Suuri (O3)	Välttämisen mahdollisuus: Mahdollinen (A1) Ei mahdollinen (A2)	Riskierroin (1-6)	Riskin pienentämisen menetelmä
Puristuminen kääntyvän telineen alle	S2	F2	O2	A1	2	Pieni kääntymisliikkeen nopeus, varoetäisyyden säilyttäminen kääntyvään telineeseen, kytkimen sijoittaminen turvaetäisyyden päähän
Käsien tai sormien puristuminen laakeriputken ja kohdistuskeikan väliin	S2	F2	O3	A2	5	Pieni sylinterin liikenopeus, oikeat työtavat
Kääntöpuomin putoaminen telineestä hydrauliijärjestelmän pettäessä	S2	F1	O1	A1	2	Ohjausliikkeen ulkopuolella molemmat kääntösylinterit ovat lukittuna, paineakun käyttö, mekaanisten kiinnittimien käyttö, järjestelmän toimintakunnon tarkastus määräajoin
Kääntöpuomen putoaminen telineestä rakenteen pettäessä	S2	F1	O1	A1	1	Varmuusluvun n=4 käyttäminen koko rakenteessa
Korkeapaineisen hydraulinesteen suihkuaminen johtuen letku- tai liitosrikosta	S2	F1	O1	A1	2	Hydrauliikkajärjestelmän suojaus kotelolla sekä näkyvien letkujen rajähdysuojaus
Telineen kaatuminen kääntöpuomia kääntäessä	S2	F1	O1	A1	1	Telineen pulttaus lattiaan, rakenteen painopisteen sijoitus matalalle



#	Nimike	Valmistaja/maahantuojaja	Valmistajan tuotenimike	Kpl
1	Kääntösylinteri	PMC Polarteknik	MTS 80.50	2
2	Teleskooppisylinteri	Erikoistilaus, esim. Konepaja Ketola	Iskunpituus 1200mm, minimipituus 460mm	1
3	Paineenrajoitusventtiili	PR-Hydrauliikka	OW-VMDR40380C3	1
4	Paineenlennusventtiili	PR-Hydrauliikka	FC-RLY30/D-N	1
5	Virransäätöventtiili	PR-Hydrauliikka	OW-VRC380	4
6	Vastusvastaventtiili	PR-Hydrauliikka	FT251/5-S-38	2
7	Vastaventtiili	PR-Hydrauliikka	OW-VUR380SP1	2
8	Vaihtovastaventtiili	PR-Hydrauliikka	OW-VUSF380	3
9	Paineohjattu 2/2 suuntaventtiili	PR-Hydrauliikka	FC-VDT30/3202	1
10	Sähköohjattu 4/3 suuntaventtiili	PR-Hydrauliikka	FC-ETD30/4309	2
11	Sähköohjattu 4/3 suuntaventtiili	PR-Hydrauliikka	FC-ETD30/4306	1
12	Paineakku	Epe Italiana/PMC Polarteknik	AS 0,7	1
13	Hydrauliipumppu, moduulikoneikko (sisältää paineenrajoitusventtiilin)	RIVA OLEODINAMICA/PR-Hydrauliikka	AC-virta peruskoneikko, 170bar pumppukoko 6cm ³ /kierros	1
14	Säiliö	PR-Hydrauliikka	5,0 dm ³	1
15	Suodatinyksikkö	Hydroscand/PR-Hydrauliikka	AH-FA016-1600	1
16	Painemittari	PR-Hydrauliikka	Q-63/250, toimialue 0-25MPa, glyseriinivaimennus	1
17	Hydrauliiletku			
18	Liittimet			
19	Sähköinen ohjausjärjestelmä			
20	Kytkimet			

